

自然堆積粘土のひずみ速度依存性と二次圧密係数の関係

(財)地域地盤環境研究所 正会員 ○肥後 陽介
 京都大学大学院 フェロー 岡 二三生
 (財)地域地盤環境研究所 正会員 長屋 淳一
 京都大学大学院 学生会員 渡部 泰介

1. はじめに

粘性土はひずみ速度依存性、二次圧密、クリープ、応力緩和などを示す時間依存性材料である。一般に、ひずみ速度依存性は載荷速度一定の三軸圧縮試験や定ひずみ速度圧密試験から定量化され、二次圧密係数は長期圧密試験から定量化されるが、ひずみ速度依存性と二次圧密係数は密接に関係している事が示されている^{1), 2)}。そこで本研究では、自然堆積粘土を用い、ひずみ速度の異なる非排水三軸圧縮試験と長期圧密試験および段階載荷圧密試験を実施し、ひずみ速度依存性を表す足立・岡モデル²⁾のパラメータと二次圧密係数を決定するとともに、これらの関係について検証した。

2. 自然堆積粘土を用いた土質試験とパラメータの決定

本研究で用いた自然堆積粘土は、中之島新線整備事業の開削工事に伴って、大阪市北区中之島の沖積粘土層（Ma13層）および洪積粘土層（Ma12層）からボーリングにより採取された不攪乱自然堆積粘土であり、採取位置を図1に示した。基本的な物理特性や力学特性については省略し、参考文献3)を参照されたいが、液性限界 $W_L = 50 \sim 80\%$ 、塑性指数 $I_P = 22 \sim 51$ であり、CHに分類される高塑性な粘土である。

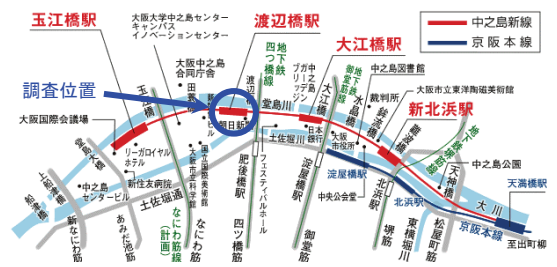


図1 中之島新線概要図（駅名は全て仮称）

2.1 ひずみ速度の異なる非排水三軸圧縮試験とパラメータ m' の決定

実験ケースを表1に示す。深度GL-14.00m~14.80mとGL-18.00m~18.80mの試料について、標準圧密試験から求めた圧密降伏応力に $K_0 = 0.5$ を仮定した平均有効応力を超過する初期圧密圧力を設定し正規圧密状態とした。十分に圧密した後に、非排水三軸条件下でひずみ速度0.05%/min, 0.005%/minの定ひずみ速度圧縮試験を行った。

表1 実験ケース一覧表

深度 (GL-m)	圧密降伏応力 (kPa)	2/3圧密降伏応力 (kPa)	三軸圧縮試験		長期圧密試験
			有効拘束圧 (kPa)	ひずみ速度 (%/min)	載荷荷重 (kPa)
14.00 ~ 14.80	240	160	200	0.05	(18.0→36.0→72.0
				0.005	→144.0→)290.0
18.00 ~ 18.80	199	133	250	0.05	(20.0→40.0→80.0
				0.005	→160.0→)320.0

図2, 図3に応力~ひずみ関係および有効応力経路を示す。両ケース共に明確なひずみ速度依存性を示した。図4に各平均有効応力レベルにおける、応力比とひずみ速度の関係を示す。この直線の傾きよりひずみ速度依存性のパラメータ m' を決定することができる²⁾。GL-14mの試料は単調にひずみ硬化する一方で、GL-18mの試料は明確なピークを持ち、その後ひずみ軟化挙動を示した。図2, 図3には、内部構造変化を考慮した足立・岡モデル⁴⁾によるシミュレーション結果を同時に示している。シミュレーション結果は実験結果を精度良く再現していると言える。

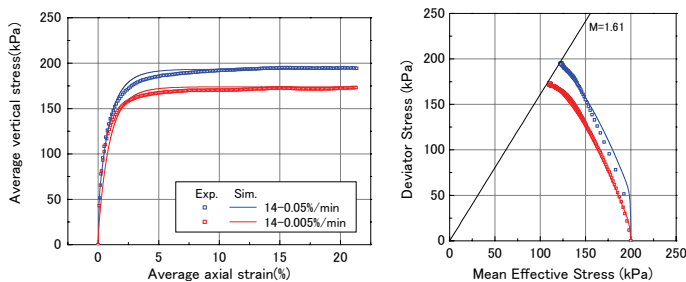


図2 実験結果とシミュレーション結果 (GL-14m)

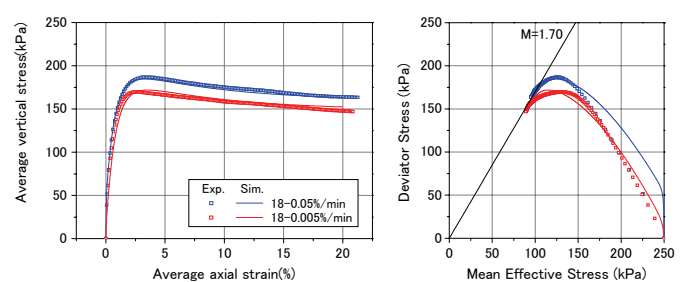


図3 実験結果とシミュレーション結果 (GL-18m)

キーワード 自然堆積粘土, ひずみ速度依存性, 二次圧密係数
 連絡先 〒550-0012 大阪府西区立売堀 4-3-2 (財) 地域地盤環境研究所 TEL 06-6539-2971

2.2 長期圧密試験と二次圧密係数の決定

実験ケースは表 1 に示すとおりである。最終的な長期圧密荷重は段階載荷試験で求めた圧密降伏応力よりも大きく設定し、1 日毎の段階載荷圧密を行い最終荷重段階で 1 ヶ月間載荷した。図 5 に示すように、時間の対数に対して、間隙比の変化がほぼ一定となった箇所の傾きから二次圧密係数 $C_{\alpha e}$ を決定した。また、別試料で行った段階載荷圧密試験より圧縮指数 C_c 、膨潤指数 C_s を決定した。

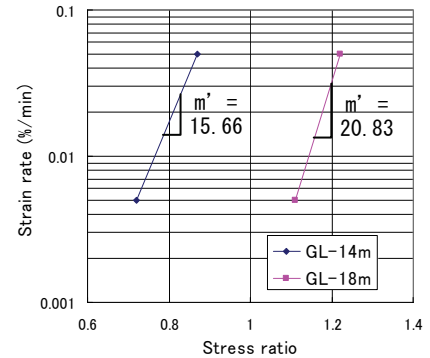


図 4 m' の決定（同じ平均有効応力における応力比～ひずみ速度の関係）

3. ひずみ速度依存性パラメータと二次圧密係数の関係

ひずみ速度依存性パラメータ m' と二次圧密係数 $C_{\alpha e}$ および圧縮指数 C_c 、膨潤指数 C_s の間には、次式のような関係がある²⁾。

$$m' = \frac{C_c - C_s}{C_{\alpha e}} \dots \dots \dots (1)$$

パラメータ m' は、三軸せん断条件においては値が小さいほどひずみ速度が変化することによる強度の差異が大きく、圧密条件においては、値が小さいほど二次圧密係数 $C_{\alpha e}$ が大きい。いずれの条件においても m' が小さいほど時間依存性挙動が顕著であることを示す。ここで、式(1)を用いて二次圧密係数 $C_{\alpha e}$ 、圧縮指数 C_c 、膨潤指数 C_s からひずみ速度依存性パラメータ m' を算定すると表 2 のようになる。双方から得られた m' には差があるが、Leroueil ら¹⁾は Mesri and Godlewski⁵⁾のデータなどから $m' = C_c / C_{\alpha e}$ と定義し、有機質土、粘土、シルトの代表的な値として $m' = 14 \sim 33$ を示しており、本研究で得られた m' は双方ともこの範囲内である。ただし、本研究は正規圧密状態での議論であり、二次圧密係数は荷重レベルや荷重時間によって値が異なるため、更なるデータの蓄積と研究が必要である。

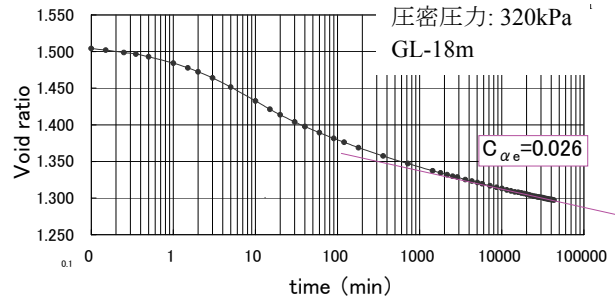
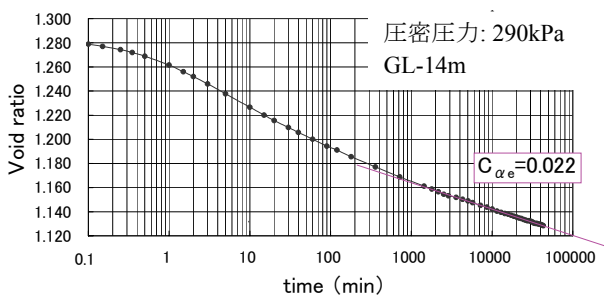


図 5 長期圧密試験結果と二次圧密係数 $C_{\alpha e}$ の決定

4. まとめ

自然堆積粘土（沖積粘土）を用いてひずみ速度の異なる非排水三軸圧縮試験と長期圧密試験を実施し、ひずみ速度依存性パラメータと二次圧密係数を決定した。その結果、三軸試験と長期圧密試験との双方からひずみ速度依存性を表すパラメータ m' を

表 2 二次圧密からの m' と三軸試験からの m' の比較

深度 (GL-m)	C_c	C_s	$C_{\alpha e}$	m' 長期圧密	m' 三軸試験
14.00～14.80	0.53	0.079	0.022	20.51	15.66
18.00～18.80	0.83	0.131	0.026	26.89	20.83

評価できることを確認した。長期圧密試験は試験時間が長時間にわたるが、ひずみ速度を変化させた三軸圧縮試験は比較的短時間で実施可能である。今後、ひずみ速度依存性と二次圧密係数のデータが十分に蓄積され、2 つのパラメータの関係が整理されれば、ひずみ速度依存性から二次圧密係数を予測する事が可能となる（その逆も可能）。

謝辞

本研究で用いた粘土試料は、中之島高速鉄道(株)、京阪電気鉄道(株)、大成・戸田・鉄建・熊谷 JV よりご提供いただいたものであり、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) Leroueil, S. and Hight, D.W. (2003), Behaviour and properties of natural soils and soft rocks, *Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils*, Tan et al. (eds.), Vol.1, pp.29-254., 2) Adachi, T. and Oka, F. (1982), *Soils and Foundations*, 22(4), pp.57-70., 3) 渡部・肥後・長屋・岡 (2006), 地盤工学研究発表会, 鹿児島, CD-ROM., 4) Kimoto, S., Oka, F., and Higo, Y. (2004), *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 193, pp.3845-2866., 5) Mesri, G. and Godlewski, P.M. (1977), Time- and Stress-compressibility interrelationship, *Proc. ASCE*, 103, GT5, pp.417-430.